



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lassi Korkealaakso

400/110/20kV

TEHOMUUNTAJAN SUOJAUS

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Lassi Korkealaakso
Opinnäytetyön nimi	400/110/20kV Tehomuuntajan suojaus
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	46
Ohjaaja	Mikko Västi & Jari Laaksoharju

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on yksinkertaistaa muuntajan suojausjärjestelmää yhdistämällä useiden suojaareleiden toiminnot yhteen RET670-suojaareleeseen. Tässä työssä keskitytään kolmikäämisen muuntajan suojaukseen. Muuntaja on 400/110/20kV, missä 400 kV:n kenttä on kahdennettu (duplex). Työ tehtiin ABB Power Grids Finland Oy:lle ja on Fingridille tehtävän projektin osakokonaisuus.

Työssä käytetään materiaalina RET-manuaaleja ja relesuojaus- kurssimateriaaleja. Työ perustuu pääsääntöisesti PCM600-ohjelmakonfigurointiin. Teoriaosassa käsitellään tehomuuntajan rakennetta ja suojausta sekä RET670-suojaarelettä. Konfigurointiosuudessa päivitetään RET670-releen toiminnallisuus vastaamaan tulevaisuuden käyttötarvetta. Työhön kuuluu kanavien päivittäminen ja lisääminen, suojausfunktioiden rakentaminen sekä ohjauksien luominen.

Käytännön työ perustui toimilohkojen luomiseen ja signaalien ohjaukseen. Toimilohkot luotiin PCM600-ohjelmasta löytyvästä valikosta sekä signaaleja siirrettiin tarvittaviin toimilohkoihin eri osissa työtä. Tämän työn tuloksena voidaan vähentää REF615-releiden kokonaismäärää kohteissa.

ABSTRACT

Author	Lassi Korkealaakso
Title	400/110/20kV Transformer protection execution
Year	2020
Language	Finnish
Pages	46
Name of Supervisor	Mikko Västi & Jari Laaksoharju

The aim of this thesis is to simplify the transformer protection system by combining the functions of multiple protection relays into a single RET670 protection relay. This thesis focuses on the protection of 3-winding transformer. The transformer is 400/110/20kV, where the 400 kV field is duplex. The work was done for ABB Power Grids Finland Oy and it is a subassembly of the project to be carried out for Fingrid.

RET manuals and relay protection course materials were used as material. The work is mainly based on PCM600 program configuration. In the theory section, I present the design and protection of the power transformer and the RET670 protection relay are presented. In the configuration section the functionality of the RET670 relay become updated to meet the need for future use. The job involves updating and adding channels, building protection functions and creating controls.

The practical work was based on the creation of action blocks and signal control. The blocks were created from the menu found in the PCM600 and signals were transferred to the necessary operating blocks in different parts of the work.

Keywords	Protection relay, transformer, configuration and PCM600
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET JA LYHENTEET

1	JOHDANTO	11
1.1	ABB Power Grids Finland Oy, PGGA.....	12
1.2	Fingrid Oyj.....	12
2	400/110/20 KV MUUNTAJAKENTTÄ	13
2.1	Muuntaja.....	13
2.2	Rakenne	14
2.3	Kaksoiskatkaisija- eli duplex-järjestelmä.....	15
3	RET670-SUOJARELE	17
3.1	Yleisesti	17
3.2	PCM-600	18
4	RET670-KONFIGURAATION LUOMINEN	19
4.1	I/O-konfigurointi.....	20
4.1.1	AI-asettelut PCM-600-ohjelmaan.....	21
4.1.2	BIM-asettelut PCM-600-ohjelmaan	24
4.1.3	BOM-asettelut PCM-600-ohjelmaan	27
4.2	Suojausfunktiot	29
4.2.1	Muuntajan sisäiset suojat	29
4.2.2	Differentiaalisuojaus	30
4.2.3	400kV (AC) suunnattu ylivirtasuojaus	31
4.2.4	400kV (AC) I0> suojaus	32
4.2.5	U0-suojaus.....	33
4.3	Vierekkäisen muuntajan suojaus.....	34
4.3.1	Laukaisulogiikka 400kV ja 110kV	35
4.3.2	Polediscrepancy toimintaehdot.....	37
4.3.3	Muuntajaerottimien asennon valvontapiiri.....	39
4.3.4	Vapaina olevien ledien hyödyntäminen	40
4.4	Mittaukset	40

4.5	Signaalilistan yhdentäminen.....	43
5	POHDINTA	45
	LÄHTEET	46

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Muuntajan rakenne.....	15
Kuva 2. Kaksoiskatkaisija	16
Kuva 3. Kommunikaatioperiaatteenäkymä	18
Kuva 4. Muuntajan suojaus	19
Kuva 5. Piirikaavio, virtamuuntajien AI-kanavat	21
Kuva 6. 400kV virtamittaukset (duplex)	22
Kuva 7. Analogiatulot Signal Matrix PCM-600	23
Kuva 8. Binääritulot PCM-600	24
Kuva 9. Binääritulot Signal Matrix PCM-600.....	25
Kuva 10. Binääritulot, piirikaavio.....	26
Kuva 11. Binäärilähdöt Application configuration.....	27
Kuva 12. Binäärilähdöt Signal Matrix	28
Kuva 13. Binäärilähdöt, piirikaavio	28
Kuva 14. Virranmittauspisteet	30
Kuva 15. Differentiaalisuojausblokki	31
Kuva 16. AC protection OC4PTOC ylivirtasuoja, delay polediscrepancy, lämpösuoja.....	32
Kuva 17. AC protection, I0> EF4PTOC, laukaisuehdot duplexin molemmille puolille (own ja side).	33
Kuva 18. Nollajännitesuojaus 20kV U0.....	34
Kuva 19. Katkaisijaohjausfunktio.....	34
Kuva 20. Laukaisulogiikka.....	35
Kuva 21. Muuntajasuojaus osa 1	36
Kuva 22. Muuntajasuojaus osa 2	36
Kuva 23. Polediscrepancy laukaisu ja hälytys.....	37
Kuva 24. Plant structure -ympäristö.....	38
Kuva 25. Aikahidasteen parametrintivalikko	39
Kuva 26. Erottimien asennon valvonta	39
Kuva 27. Etupaneelin merkinanto led-katkaisijaohjaus	40
Kuva 28. Virta- ja jännitemittaus	41

Kuva 29. 400kV differentiaalisuojaukselle lähtevä ryhmäsignaali	42
Kuva 30. 400kV Ylivirtasuojausfunktiolle lähtevä ryhmäsignaali	42
Kuva 31. Suorat mittaukset mittaustoimilohkolle	42
Kuva 32. IEC61850 configuration	44
Kuva 33. Päivitetty signaalilista	44
Taulukko 1. Muuntajavikojen sijainti.....	14

KÄSITTEET JA LYHENTEET

TCS	= Laukaisupiirin kunnonvalvonta
CBCM	= Katkaisijan koskettimien toimintakunnon valvonta
COCB1 seen	= Katkaisijan ohjaustoimilohko, katkaisijan kiinni- ja aukiohjaami
COIND1, COIND2	= Erottimen ohjaukseen
COIND3	= Maadoituserottimen ohjaukseen
MECU3A	= Mittaustoimilohko, vaihevirratt
MEVO3A	= Mittaustoimilohko, vaihejännitteet
MEFR1	= Mittaustoimilohko, taajuus
MECU1A	= Mittaustoimilohko, nollavirta
MEVO1A	= Mittaustoimilohko, nollajännite
MEPE7	= Kolmivaiheinen teho ja energia
MEDREC16	= Häiriötallennin toimilohkolla
CMTCS1	= Katkaisijan laukaisupiirin kunto
CMCU3	= Virtapiirin toisiojohdotuksen kunto
CMVO3	= Jännitteen mittauspiirin kunto
CMBWEAR1	= Katkaisijan koskettimien kuluneisuus
CMSHED	= Katkaisijan aikaperusteista määräaikaishuoltoa
CMGAS1	= Katkaisijan kaasun paine
CMTRAV1	= Katkaisijan koskettimien toiminta aika
CMSPCR1	= Katkaisijan jousen viritysaika
KVR	= Katkaisijavikasuojaus = CBFP
HT	= Häiriötallennin
KK	= Kiskokatkaisija

H = Hälytys

suojausfunktio

I> = Overcurrent function →ANSI CODE : 51

I>> = Short circuit function →ANSI CODE :50

I_z = Phase unbalance function →ANSI CODE :46

I₀> = Differential current function →ANSI CODE :87

I₀> = Earth fault current function →ANSI CODE :51N

I₀>> = Earth fault current function →ANSI CODE :50N

^I₀> = Earth fault current function →ANSI CODE :67N

U> = Over voltage function →ANSI CODE :59

U>> = High voltage function →ANSI CODE :59

U< = Undervoltage function →ANSI CODE :27

U₀> = Zero voltage function (Earth fault) →ANSI CODE :59N

f> = Over frequency function →ANSI CODE :81H

f< = Under frequency function →ANSI CODE :8'L

P<— | = Reverse power function →ANSI CODE :32

X< = Under-reactance function →ANSI CODE :40

inf> = DIODE supervision function

> = Operating when the characteristic value is higher than the setting value

< = Operating when the characteristic value is lower than the setting value

$>>$ = value Exceeds higher setting value of the same relay

$\mid \rightarrow$ = Direction element where direction from busbars

$\leftarrow \mid$ = Direction element where direction towards busbars

/3/ ylikuormituksen toimilohko

3l>, 3l>>, 3l>>> = suojausfunktiot, joissa > merkki kuvaa porrasta. Jokaisessa portaassa toisistaan poikkeavat suojausfunktiot.

3l2> = Funktio tunnistaa muuntajan kytkentävirtasäyksen 2. kertaluvun yliaallosta(100Hz).

Δl > = suojausfunktio, joka tunnistaa yhden vaiheen katkoksen (epäsymmetrian tunnistuslohko).

Inrush3 = Kytkentävirtasäyksen tunnistustoimilohko

Io>, Io>> = Suunnatut toimilohkot

3Io>> = Suuntaamaton toimilohko

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda tehomuuntajan pääsuojareleen konfiguraatio ohjeiden mukaisesti. Työn toimeksiantajana toimii ABB Power Grids Oy. Käytännössä tehtävänä on konfiguroida RET670-rele siten, että REF615-releen suojausominaisuudet siirtyvät RET670-releeseen. Tämän konfiguroinnin jälkeen kohteesta voidaan poistaa REF615-releitä, jolloin releiden kokonaismäärä kohteessa vähenee ja kohdekokonaisuudet yksinkertaistuvat. Kokonaisuuden yksinkertaistumisen odotus perustuu siihen, että fyysisten laitteiden määrä vähenee kohteessa.

Konfigurointi tehdään PCM600-ohjelmalla. Työ tapahtuu käytännössä vanhan mallin päälle, joka päivitetään uutta tarkoitusta vastaavaksi kokonaisuudeksi. RET670-releeseen lisätään myös vaadittavat suojausfunktiot ja niiden vaatimat tulot ja lähdöt. Työssä tarkastellaan myös, miten paljon lisäpaikkoja uusi relekokonaisuus vaatii ja miten monta liitintä tulee lisätä lopulliseen kokonaisuuteen.

Käsittelen 400 kV:n muuntajakenttää sekä muuntajan rakennetta luvussa 2. Luvussa 3 esittelen RET670-releen ja PCM600-ohjelman. Luvussa 4 käydään läpi RET670-konfiguraation tekemisen vuokaaviotyypistä. Tässä osassa käydään järjestyksessä läpi tulot ja lähdöt, suojaus- ja ohjausfunktiot, mittaukset sekä signaalilistan yhdistäminen. Lopuksi pohdiskelen työtä ja sen mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

1.1 ABB Power Grids Finland Oy, PGGA

Suomessa ABB Power Grids Finland valmistaa, suunnittelee, toimittaa ja kunnossapitää muuntajia ja reaktoreita, sähköverkon hallinnan ohjaus-, automaatio- ja valvontajärjestelmiä ja -projekteja sekä siirto- ja jakeluverkon ratkaisuja, kuten sähköasemakokonaisuuksia energia- ja sähköyhtiöille, teollisuuteen, liikenteeseen ja infrastruktuurikohteisiin. Power Grids -liiketoiminta divergoidaan Hitachille vuonna 2020. Kaupan arvioidaan toteutuvan vuoden 2020 ensimmäisen vuosipuoliskon aikana. Suomessa ABB Power Grids Finland Oy aloitti toimintansa 1.11.2019. Yhtiö toimii täysin ABB-omisteisena yhtiönä kaupan toteutumiseen saakka. /1/

1.2 Fingrid Oyj

Fingrid Oyj on suomalainen julkinen osakeyhtiö, joka vastaa sähkön siirrosta Suomen kantaverkossa. Maanlaajuinen kantaverkko on keskeinen osa Suomen sähköjärjestelmää. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon ovat liittyneet suuret voimalaitokset ja tehtaات sekä alueelliset jakeluverkot.

Suomen kantaverkko on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää, joka on kytetty Keski-Euroopan järjestelmään tasavirtayhteyksin. Lisäksi Suomesta on Venäjälle ja Viroon tasasähköyhteydet.

Kantaverkkoon kuuluu 400, 220 ja 110 kilovoltin voimajohtoja yli 14 000 kilometriä sekä yli sata sähköasemaa.

Fingridin vastuulla ovat kantaverkon käytön suunnittelu ja valvonta sekä verkon ylläpito ja kehittäminen. Lisäksi tehtävänä on osallistua eurooppalaisen yhteistyöjärjestö ENTSO-E:n toimintaan sekä eurooppalaisten markkina- ja käyttökoodien laadintaan ja verkkosuunnitteluun.

Sopimusasiakkailleen eli sähköntuottajille, verkkoyhtiöille ja teollisuudelle Fingrid tarjoaa kantaverkko-, rajasiirto- ja tasepalveluita. Sähkömarkkinoita Fingrid palvelee huolehtimalla riittävästä sähkönsiirtokapasiteetista, poistamalla siirtorajoituksia maiden väliltä ja antamalla tietoa markkinoista. /2

2 400/110/20 KV MUUNTAJAKENTTÄ

Muuntajakenttä on osa muuntoasemana toimivaa sähköasemaa. Muuntajakenttä on kokonaisuus, jonka komponentit sijaitsevat aidatun alueen sisällä. Muuntajakenttä pitää sisällään muuntajan, katkaisijoita, erottimia, virtamuuntajia, jännitemuuntajia ja suojarkeitä. Näistä komponenteista suojarkeitet valvovat ja ohjaavat. Suojarkeitet keräävät tietoa sähköasemilta ja lähettävät sen edelleen valvomoihin. Jos muuntoasemalla syntyy vikatilanne, suojarkeitet ohjaavat tarvittaessa vikaantuneen osan pois verkosta. /9/

2.1 Muuntaja

Sähkön siirtäminen on yleistynyt 1900-luvun alusta lähtien. Silloin on siirrytty vaihtosähköön. Sähkönsiirrossa ongelmana on, että pienjännitteinen sähkö aiheuttaa siirrettäessä huomattavia häviötehoja. Muuntajien avulla jännitetasoa voidaan nostaa, jolloin siirrosta aiheutuvat häviötehot pienenevät. Häviöiden pieneminen jännitteen kasvaessa liittyy siihen, että virtalämpöhäviöt ovat suoraan verrattavissa virran neliöön. Korkeajännite mahdollistaa myöskin pienempien johdinpoikkipinta-alojen käytön. Jännitteen nostamisessa ongelmallista on ainoastaan se, että sähkön johtavuus paranee, mikä aiheuttaa omalta osaltaan vaaratilanteen. Tämän takia esimerkiksi Suomessa kantaverkon 400 kV:n avojohto tulee asentaa vähintään 8 metrin korkeuteen maasta.

Muuntajan tehtäviin kuuluu myös jännitetasojen erottaminen galvaanisesti toisistaan ja oikosulkuvirtojen asetteleminen siten, että oikosulkuvirta säilyy kohtuullisissa rajoissa ja selektiivinen suojaus toteutuu. /11/

Muuntajissa esiintyvistä vioista luettelo alla (taulukko 1).

Muuntaja vikojen sijainti	Käämitys	Käämikytkimessä
Käämitys	Kierrossulku	Mekaaninen vika
Käämikytkin	Salama	Sähköinen vika
Kiskosilta	Kosteus	Kosketinvika
Läpiviennit	Ulkopuolinen vika	Vika johdossa
Muuntaja sydän	Ylikuumeneminen	Askeltamisvirhe
	Käämikatkos	Ylikuumeneminen
	Vanheneminen	Kolmivaiheinen oikosulku
	Väärinkytkeä	Öljyvuoto
	Runkosulku	Ulkopuolinen vika
	Käämisulku	
	Mekaaninen heikkous	

Taulukko 1. Muuntajavikojen sijainti

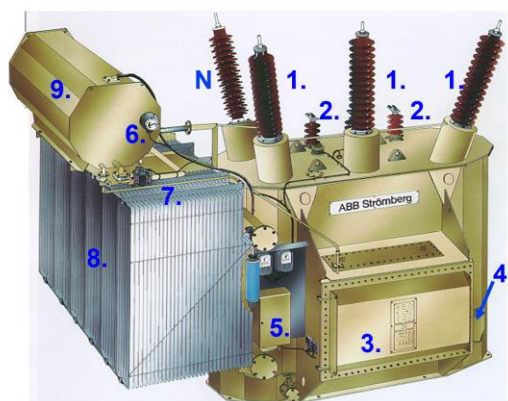
2.2 Rakenne

Tehomuuntajien osat voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin. Aktiivisia osia ovat käämitykset, rautasydän, käämikytkin, käämikytkimen ohjain, joiden avulla muuntosuhde tuotetaan. Passiivisia osia ovat tukirakenteet, eristimet, muuntajaöljy ja jäähdytyslaitteet. Rautasydämen rakenteen mukaan voidaan muuntajat jakaa sydän- ja vaippamuuntajiin.

Tehomuuntajat voidaan jakaa seuraavilla tavoilla:

- jakelu- / väli- ja suurmuuntajat
- vaiheluvun mukaan
- rakenteen mukaan.

1. Yläjänniteläpivienti
2. Alajänniteläpivienti
3. Käämikytkin
4. Käämikytkimen ohjain
5. Ohjauspaneeli
6. Öljyn korkeuden mittari
7. Kaasurele
8. Radiaattorit
9. Paisuntasäiliö



Kuva 1. Muuntajan rakenne

Kuvassa 1 näkyy muuntajan ulkonevat osat. Kuvassa on 2-käämimuuntaja, mutta työssäni oli käytössä kolmikääminen. Tämä tarkoitti, että muuntajassa oli kaksi toisiopuolta ja yksi ensiöpuoli.

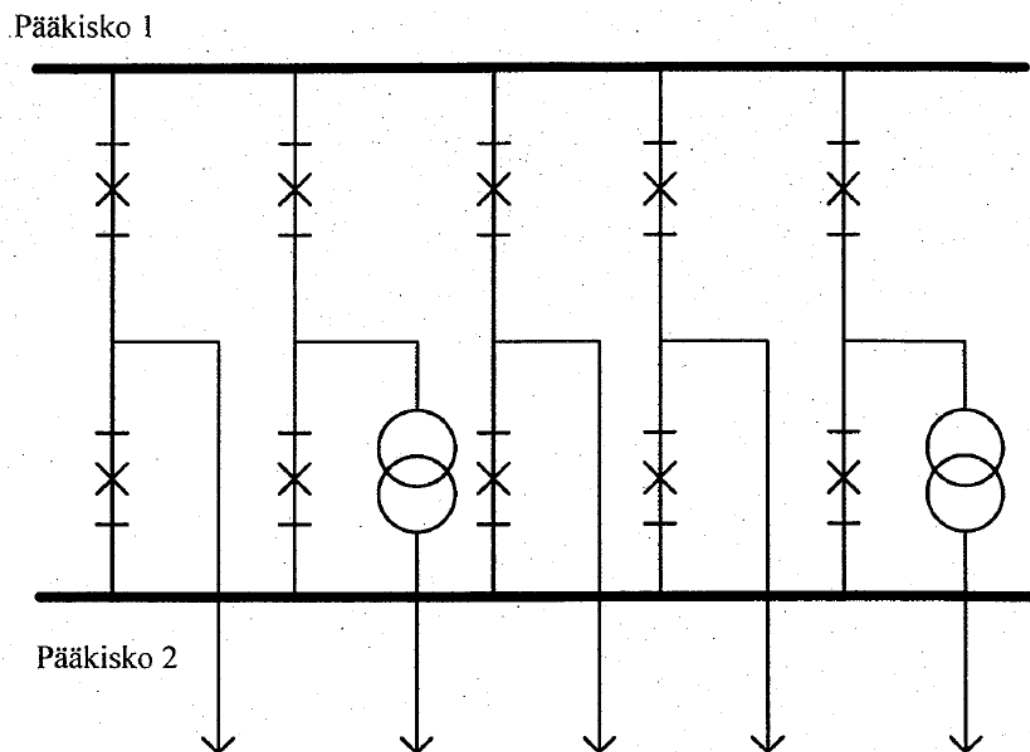
2.3 Kaksoiskatkaisija- eli duplex-järjestelmä

Duplex-järjestelmää sovelletaan keskijännitteellä teollisuuslaitoksissa ja suurissa jakelukojeistoissa. 110 kV:n ja tätä suuremmilla jännitteillä kiintokojeita käytettäessä duplex-järjestelmä tulee kalliimmaksi kuin kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä, johon verrattuna kojeita tarvitaan lähes kaksinkertainen määrä. Kantaverkossa duplex-järjestelmän sovelluskohteet ovat pienet, mutta tärkeät muuntoasemat sekä voimalaitosasemat. Viimeksi mainituissa laitoksissa voidaan duplex-järjestelmällä

merkittävästi vähentää generaattoreiden laukeamiseen johtavien vikojen määrää.

/9/

Duplex-järjestelmää käytetään käytön ja huoltojärjestelyjen yksinkertaistamisen ja selkeyttämisen vuoksi. Duplex-järjestelmä on käyttövarma ja vähentää kiskovikoja ja virheohjauksia. Järjestelmää on helppo laajentaa, ja se soveltuu hyvin kaukokäyttöön. Käyttö voidaan jakaa, ja keskijännitteen kiskot voivat sijaita eri kenttäriveissä. Halutessa tietty kisko ja katkaisija saadaan jännitteettömäksi käytön aikana, jos se on tarpeen. Kun käytetään vaunukatkaisijasovitteita, ei tarvita erillisiä erottimia. Duplex mahdollistaa lähtöjen yhteen kytkennän toisen kiskon kautta. /9/



Kuva 2. Kaksoiskatkaisija

3 RET670-SUOJARELE

3.1 Yleisesti

Jokainen muuntaja suojataan omalla releellä. Muuntajasuojaus voidaan toteuttaa differentiaalireleellä tai ylivirtareleellä, jossa on maasulkusuojaus. Releen suojausalue alkaa yläjännitepuolen virtamuuntajasta ja päättyy alajännitepuolen virtamuuntajaan. Releen tarkoituksena on havaita vika ja kytkeä vioittunut muuntaja irti sähköverkosta katkaisijan avulla mahdollisimman nopeasti. Näin ollen muu verkko toimii silti normaalisti.

Suojareleiden tulee toimia selektiivisesti, eli vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää virrattomaksi. Suojareleiden tulee toimia niin nopeasti, etteivät verkon komponentit ehdi vaurioitua ja sähköverkon toiminta ei häiriintyisi. Tässä työssä REF615-releiden toiminnallisuudet yhdistetään muuntajan RET670-pääsuojareleeseen. Muutoksella pyritään yksinkertaistamaan ja varmentamaan suojauksen toimintaa. Relesuojaukset on toteutettava siten, että niitä on helppo koestaa käytön aikana. Suojareleiden tulee suojata ainoastaan sille määritettyä aluetta.

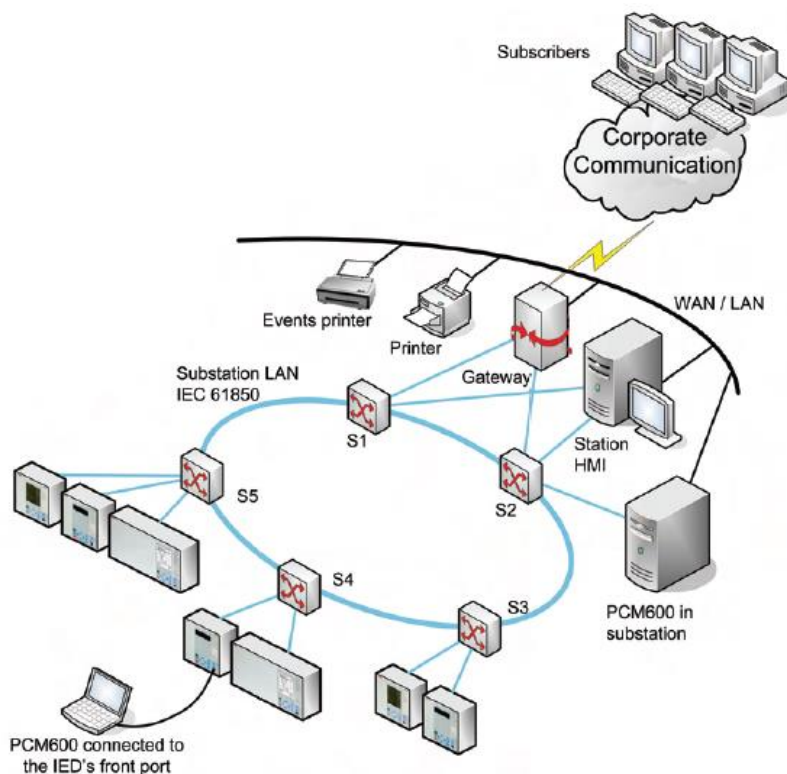
Suoja-alueet jaetaan katkaisijoiden mukaan siten, että suojausalueet menevät osittain toistensa päälle. Tällöin suojaus on aukoton. Kun suojaus on aukoton, on suojaus absoluuttisesti selektiivinen. Rele voidaan asettaa myös aika- tai virtaselektiiviseksi. Suojattavia kohteita ovat muun muassa muuntajat, moottorit, generaattorit, johdot ja kokoojakiskot. Näiden suojaukseen on määritetty omat suojaruleensa, esim. /10/

- RET on muuntajasuojaus (transformer)
- REF on johtolähtö (feeder)
- REL on linjajäätanssi (line distance)
- REM on moottori (motor).

3.2 PCM-600

PCM-600 (Protection and control manager) on releiden ohjelmointi-, käyttöönotto- ja hallintaohjelma, jolla voidaan käsitellä kaikkia Relion-releitä. PCM-600-ohjelmalla voidaan hallita kaikkia ABB:n suojarleitä, mitä työstettävä kohde sisältää. Ohjelmaa voidaan käyttää asemilla jännitetasosta riippumatta, sillä PCM-600-ohjelmalla hallitaan erisuuruiset jännitetasot.

Ohjelmalla voidaan käsitellä signaalimatriisia, signaalien monitorointia, tiedonsiirtoa, parametrintia, käyttäjäryhmiä sekä laitekonfigurointia. PCM-600 on suunniteltu nopeaan vuorovaikutukseen IED:n kanssa, joiden välille voidaan luoda yhteys LAN:in tai WAN:in kautta. Yhteys voidaan muodostaa myös suoraan laitteen etupaneelissa olevan ethernet-väylän kautta. /6/

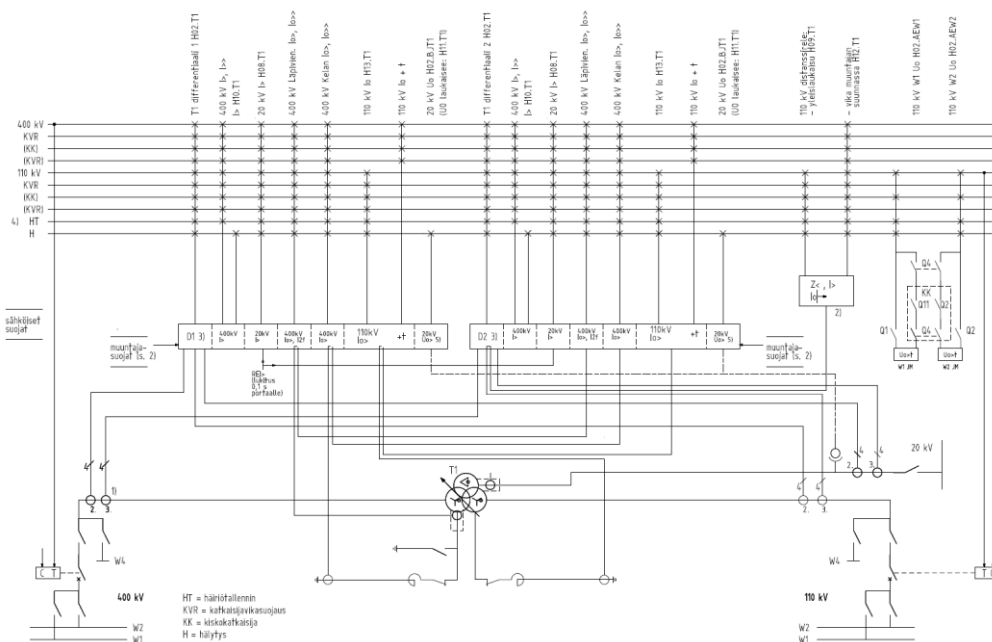


Kuva 3. Kommunikaatioperiaatteenäkymä

4 RET670-KONFIGURAATION LUOMINEN

Tässä luvussa käydään läpi, miten konfiguraation luominen tapahtui. Aluksi käydään läpi I/O-konfigurointia. Tähän vaiheeseen kuuluvat analogiatulojen päivittäminen vastaamaan uusia suunnitelmia. Seuraavaksi merkittiin binääritulot, jotka olivat suureksi osaksi muuntajan primäärisiä suojia ja katkaisijaohjausindikoiteja. Binäärilähtöjen päivittäminen oli työn loppuvaiheen tehtäviä.

Seuraava vaihe oli suojausfunktioiden luominen. Suojausfunktioihin kuuluvat differentiaalisuojaus, ylivirtasuojauus, nollavirta- ja jännitesuojauus. Alla olevassa kuvassa 4 nähdään suojafunktioiden vaatimat mittauspisteet. Esimerkiksi differentiaalisuojaus ja virranmittaukset on merkitty kuvassa numerolla 4. Differentiaalisuojaus vaatii virranmittauksen jokaisesta jännitetasosta. Nollajännitemittaukset tulevat avokolmiosta. Suojaukseen liittyvät jännitemittaukset mitataan 20 kV:n jännitetasolta.



Kuva 4. Muuntajan suojaus

4.1 I/O-konfigurointi

I/O-konfigurointi oli ensimmäinen tehtävä koko projektissa. Uusia piirikaavioita ei kuitenkaan työni alettua ollut välittömästi tullut, joten minulle annettiin vanhan kohteen piirikaaviokuvat, joita aloin muokkaamaan uuteen projektiin sopiviksi.

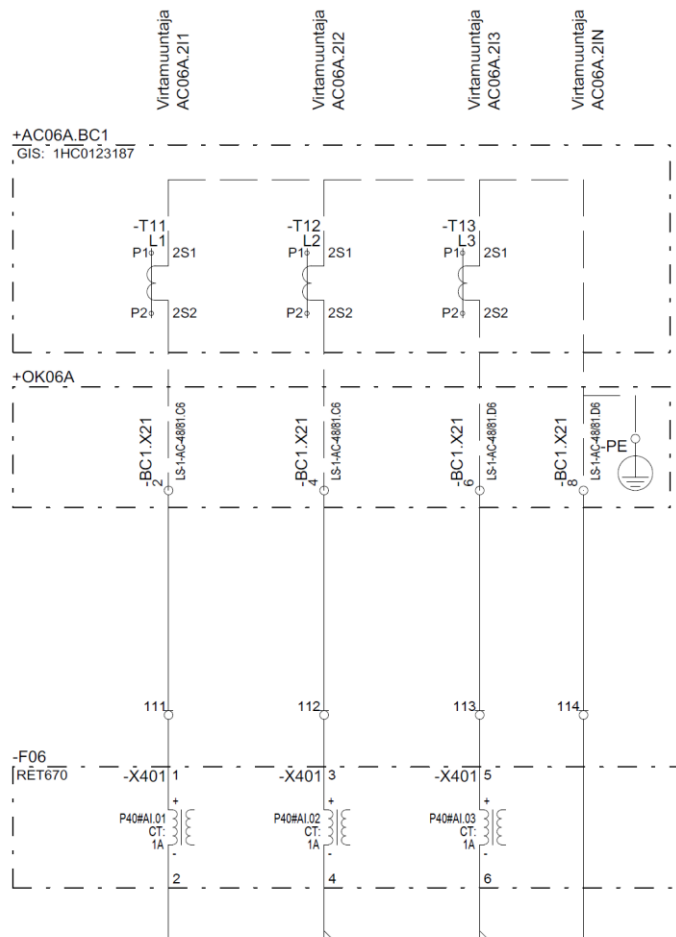
Ensitöiksi tulostettiin vanhan piirikaavion paperiversioksi, minkä jälkeen merkittiin siihen punakynällä poistuvia REF615-releitä ja siirrettiin toiminnallisuudet RET670-releeseen. Tämä työvaihe auttoi ymmärtämään, millaisesta muutoksesta oli kysymys. Tekemistäni kuvista näki konkreettisesti, mitkä fyysiset laitteet oli täysin korvattavissa toisesta releestä löytyvillä samanlaisilla ominaisuuksilla. Ongelma releen ominaisuuksien keskittämisessä ei ole se, etteikö releen toimintateho riittäisi uusien tehtävien suorittamiseen, vaan haasteena on releen takana olevien tulojen ja lähtöjen riittävyys. Yksi tehtävistäni olikin selvittää, riittävätkö releen tulot ja lähdöt kyseisen muutoksen tekemiseen onnistuneesti.

Lopputuloksena merkittiin tarvittavat lisäominaisuudet ja niiden vaatimat kanavat RET670-perusvaatimusten lisäksi ja verrattiin niitä RET670-tulojen ja -lähtöjen kokonaismäärään. RET670-valmiuksien todettiin olevan riittävät kyseiseen toimenpiteeseen.

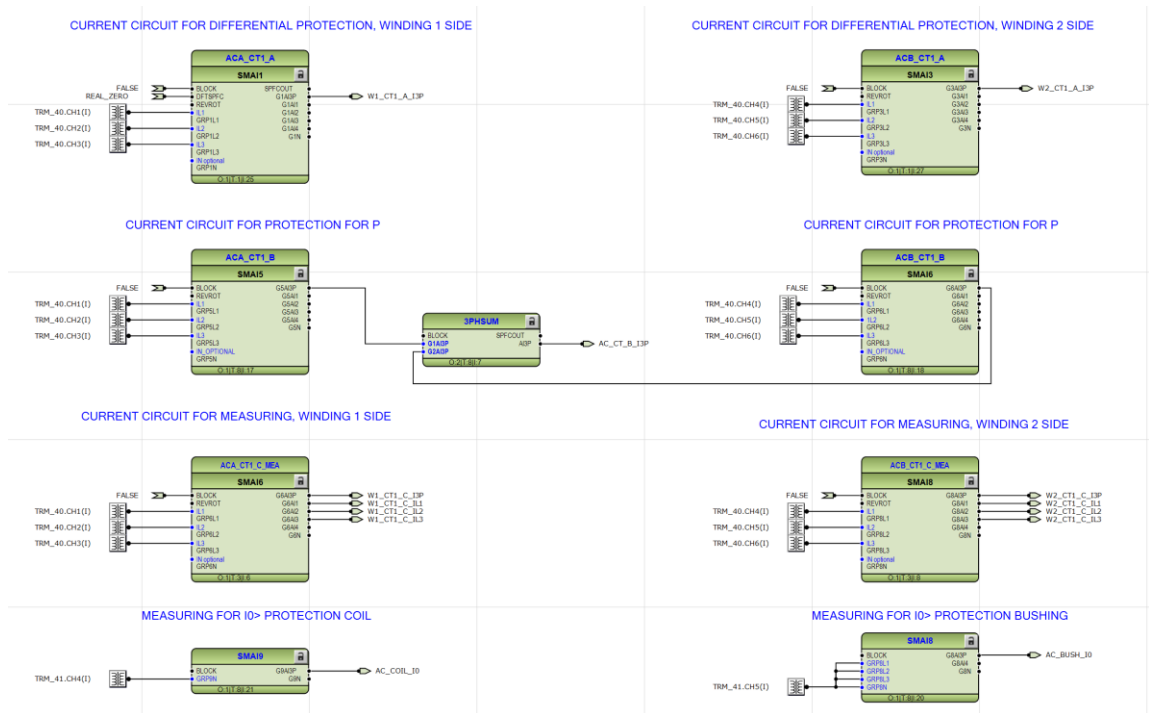
4.1.1 AI-asettelut PCM-600-ohjelmaan

Konfigurointiprosessi aloitettiin AC (400kV) -toimilohkosta, jonka mittaukset tulivat erillisinä molemmilta puolilta, sillä 400kV:n osa muuntajaa oli toteutettu duplex-tyyppisellä ratkaisulla (**kuva 6**).

Mittauskanavat päivitettiin vastaamaan suunnitelmissa määritettyjä analogisia tuloja (**kuva 5**). Kuvassa näkyy A-puolen virtamittaukset. Duplexin virtamuuntajien tulot on eroteltu A- ja B-merkinnöillä eli AC06A ja AC06B.



Kuva 5. Piirikaavio, virtamuuntajien AI-kanavat



Kuva 6. 400kV virtamittaukset (duplex)

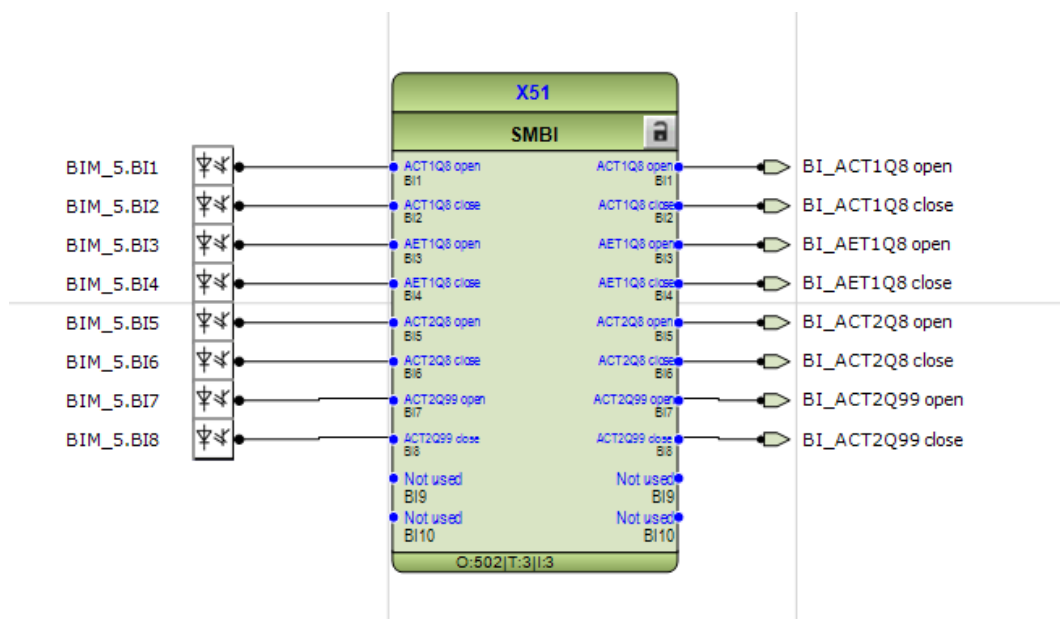
Analogiatulosten hallinta tapahtuu parhaiten Signal Matrix -työkalun avulla, josta pystytään tarkastelemaan suurempia kokonaisuuksia pienemmässä mittakaavassa. Tämä perustuu siihen, että Signal Matrixista (**kuva 7**) voidaan valita näkymään binääritulot, binäärilähdöt tai analogiatulot kerralla.

RET670 - Application Configuration		RET670 - Signal Matrix		TRM_40												TRM_41											
				GH1 (0)	GH2 (0)	GH3 (0)	GH4 (0)	GH5 (0)	GH6 (0)	GH7 (0)	GH8 (0)	GH9 (0)	GH10 (U)	GH11 (U)	GH12 (U)	GH1 (0)	GH2 (0)	GH3 (0)	GH4 (0)	GH5 (0)	GH6 (0)	GH7 (0)	GH8 (0)	GH9 (0)	GH10 (U)	GH11 (U)	GH12 (U)
- ACA_CT1_A; SMAI1:25				X																							
ACA_CT1_A; SMAI1:25	IL1				X																						
	IL2					X																					
	IL3						X																				
- ACA_CT1_B; SMAI5:17																											
ACA_CT1_B; SMAI5:17	IL1			X																							
	IL2				X																						
	IL3					X																					
- ACA_CT1_C_MEA; SMAI6:6																											
ACA_CT1_C_MEA; SMAI6:6	IL1			X																							
	IL2				X																						
	IL3					X																					
- ACB_CT1_A; SMAI3:27																											
ACB_CT1_A; SMAI3:27	IL1						X																				
	IL2							X																			
	IL3								X																		
- ACB_CT1_B; SMAI6:18																											
ACB_CT1_B; SMAI6:18	IL1						X																				
	IL2							X																			
	IL3								X																		
- ACB_CT1_C_MEA; SMAI8:8																											
ACB_CT1_C_MEA; SMAI8:8	IL1						X																				
	IL2							X																			
	IL3								X																		
- AE_CT1_A; SMAI10:34																											
AE_CT1_A; SMAI10:34	IL1																X										
	IL2																	X									
	IL3																		X								
- AE_CT1_C_MEA; SMAI5:5																											
AE_CT1_C_MEA; SMAI5:5	IL1																X										
	IL2																	X									
	IL3																		X								
- BJ_CT1_A; SMAI5:29																											
BJ_CT1_A; SMAI5:29	IL1									X																	
	IL2										X																
	IL3											X															
- BJ_CT1_C_MEA; SMAI10:1																											
BJ_CT1_C_MEA; SMAI10:1	IL1									X																	
	IL2										X																
	IL3											X															
- BJ_U0; SMAI9:9																											
BJ_U0; SMAI9:9	U0													X													
- SMAI8:20																											
SMAI8:20	GRP8L1																				X						
	GRP8L2																				X						
	GRP8L3																				X						
	GRP8N																				X						
- SMAI9:21																											
SMAI9:21	GRP9N																					X					

Kuva 7. Analogiatulot Signal Matrix PCM-600

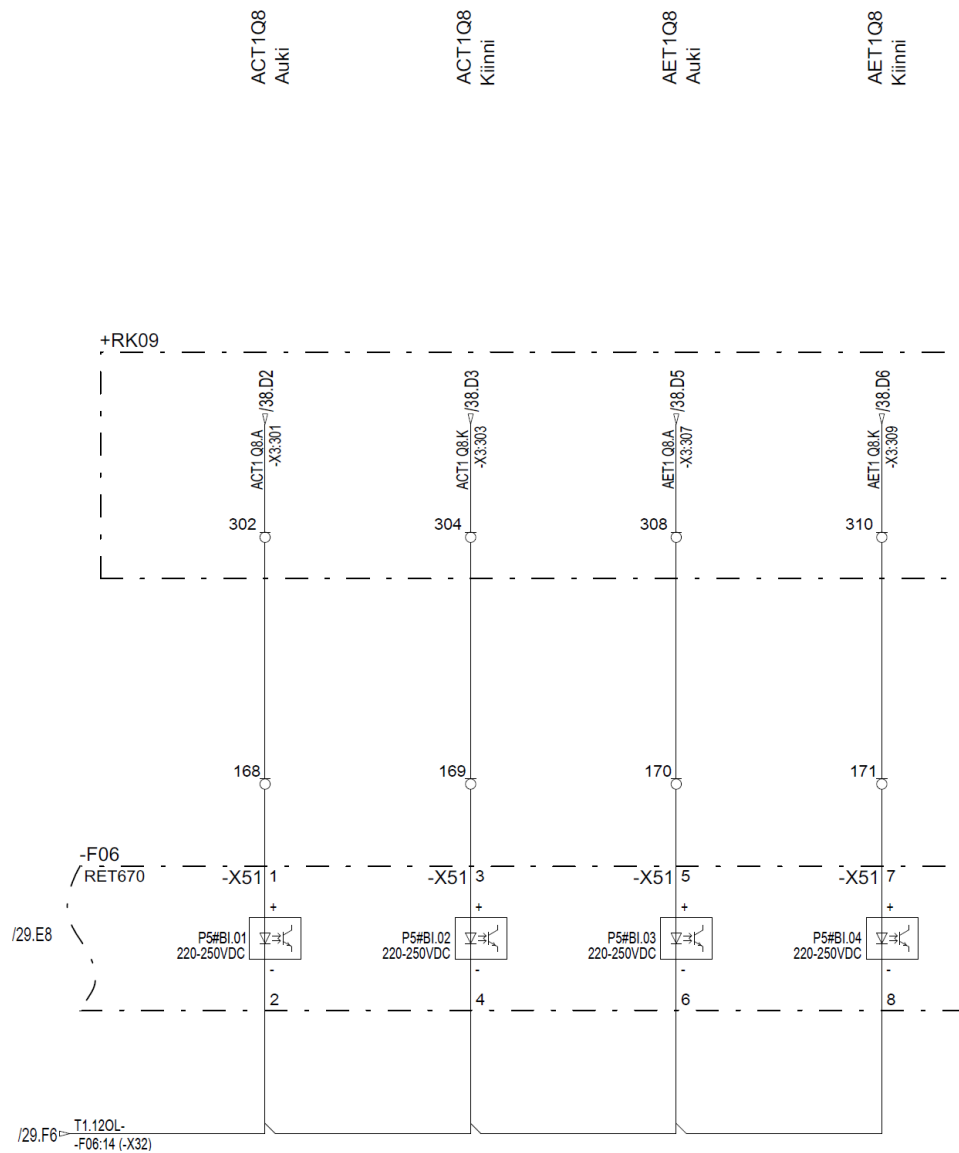
4.1.2 BIM-asettelut PCM-600-ohjelmaan

Binääritulot päivitettiin piirikaavion mukaisiksi ja luotiin lisää SMBI-blokkeja tarpeen mukaan. Kuten kuvasta 8 nähdään, tämä oli helppo työ, jonka sai suoraan päivittää ohjelmaan.



Kuva 8. Binääritulot PCM-600

Binääritulojen hallintaa helpottaa vielä entisestään Signal matrix (**kuva 9**), jolla voitiin asetella tulot järjestelmällisesti konfiguraatioon (**kuva 10**).



Kuva 10. Binääritulot, piirikaavio

Työn osuus alkaa vasta tästä eteenpäin, sillä tästä lähteviä boolean- muuttujia käytetään eri puolilla työtä. SMBI siirtää tietoa suoraan laukaisulogiikkaan, suojaukseen, häiriöntallentimelle, IEC 61850:lle ja ledeille.

4.1.3 BOM-asettelut PCM-600-ohjelmaan

Binäärilähdöt lisättiin lähdöt -sivulle. Kuvasta 11 Application configuration nähdään, että katkaisijavikasuojaus (KVR), Trip ja lämpöhälytystieto toimitetaan BOM-kanavaan, joiden avulla tieto voidaan poimia releestä.



Kuva 11. Binäärilähdöt Application configuration

Signal matrixia (**kuva 12**) käytettiin lähinnä binäärilähtöjen tarkasteluun. Binäärilähdöt luotiin Application configuration -ohjelmanäkymässä, missä voitiin myös parannella näkymän esteettisyyttä.

4.2 Suojausfunktiot

Suojausfunktiot ovat PCM600-ohjelman sisällä tehtyjä suojauslohkoja, joiden tulee noudattaa tiettyjä ehtokokonaisuuksia. Jokainen suojauslohko omaa itselleen tyyppillisen suojausfunktion, jonka mukaan se jakaa laukeamis-, hälytys- ja varoitustietoa. Tässä tapauksessa johdon ylivirtasuojausfunktio on tuotu REF-releestä RET670-releeseen. Tässä releessä on myös differentiaalisuojaus-, nollavirta- ja nollajännitelohko. /7/

4.2.1 Muuntajan sisäiset suojat

Relesuojauksen lisäksi muuntajassa ulkoisia suojalaitteita, ns. primäärisiä suojia. Yksi niistä on kaasurele, joka valvoo muuntajan sisällä syntyviä vikoja. Näitä ovat esimerkiksi eristysviat, kuten käämi-, kierros- ja runkosulut. Kaasureleen toiminta perustuu siihen, että vikatilanteessa vikaantuneissa osissa aiheutuu lämpöä, joka muuttaa öljyä kaasuiksi. Kun öljy on kaasuuntunut, kaasurele tunnistaa viasta syntyneen kaasun ja aiheuttaa ensin hälytyksen ja sitten laukaisun. Tästä syystä kaasurele voi tunnistaa vian myös ennen sen syntymistä.

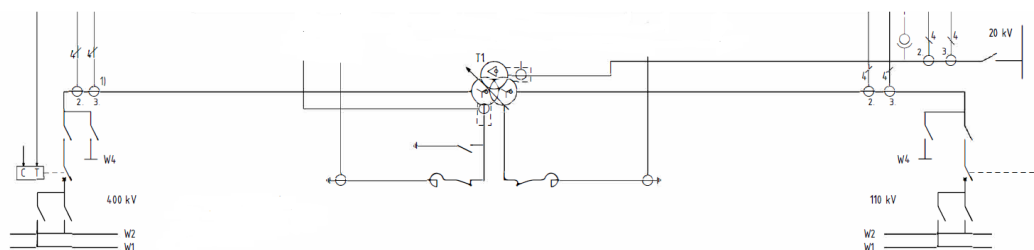
Muuntajan sisältä löytyy myös virtaus- ja painerele. Nämä releet suojaavat muuntajan käämikytkintä. Virtausrele tunnistaa paisuntasäiliöön syöksyvän öljyn, jolloin öljy siirtyy muuntajan yläosaan. Tämä aiheuttaa virtausreleen laukeamisen, mikä puolestaan aiheuttaa katkaisijaohjauksen ensiossa, toisiossa ja tässä tapauksessa myös kolmannessa osassa. Painerele puolestaan mittaa normaalista poikkeavaa paineen nousua käämikytkimen tehokytkinosassa.

Muuntajasta löytyy öljyn korkeuden osoitin, joka on asennettuna paisuntasäiliöön. Osoitin mittaa luonnollisesti öljynpinnan ylä- ja alarajaa. Öljyn korkeuden osoitin sisältää hälytyskoskettimet, joiden avulla se lähettää tietoa releelle. Tämän lisäksi muuntajassa on ylipaineventtiili, joka toimii primäärisenä suojana. Ylipaineventtiiliin voidaan asentaa hälytyskoskettimet. /10/

4.2.2 Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojaus on tärkein muuntajaa suojaava toiminto.

400kV:n virranmittaukset (**kuva 14**), jotka tulevat suoraan mittamuuntajilta, kiinnitetään releen takapaneeliin ohjelmassa luoduille binääritulopaikoilleen (BIM). Lisäksi kytketään 110 kV ja 20 kV virtamittaukset (**kuva 14**).

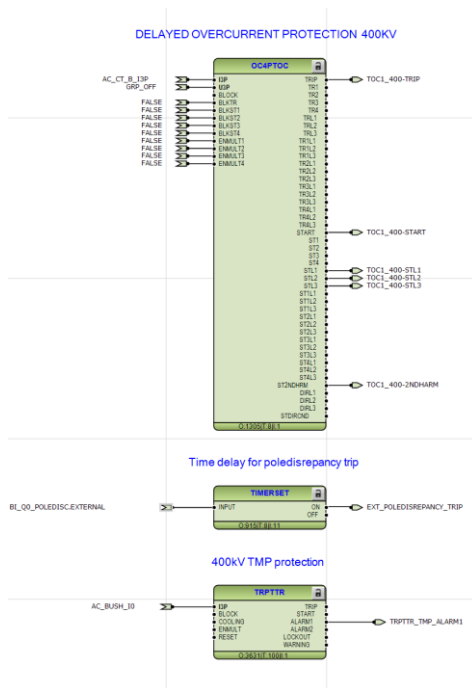


Kuva 14. Virranmittauspisteet

Differentiaalirele mittaa virtojen poikkeavuuksia amplitudin tai vaiheiden osalta. Mikäli poikkeavuus ylittää asetetun kynnsarvon, rele laukaisee muuntajan irti katkaisijoiden avulla. Differentiaalirele ei saa laukaista kytkevää virtasysäystä, vaan sillä on sisäänrakennettu salpatoiminto, jolla se tunnistaa kytkevää virtasysäystä ja estää laukaisun. Tämä tilanne estetään käyttämällä toisen harmonisen yliaallon lukitusta. Yliaallon lukituksella tarkoitetaan erovirran toisen harmonisen komponentin suhdetta erovirran perustaajuiseen komponenttiin, jolla lukitus astuu voimaan. /10/ Kuva 17 esittää differentiaalisuojausblokin, johon tuodaan kaikkia jännitetasoista virtamittaukset.



Neljäaskelisella suunnatulla OC4PTOC -ylivirtasuojalla on käänteinen tai määritetty aikaviive jokaiselle askeleelle (**kuva 16**). Kaikki IEC- ja ANSI-käänteisaikam ominaisuudet ovat saatavissa yhdessä vaihtoehtoisen käyttäjän määritetystä aikaviiveestä. Suunnattu toiminto tarvitsee jännitteen, kun jännite on polaroitu sen muistiin. Funktio voidaan asettaa olemaan suunnattu tai suuntaamaton itsenäisesti jokaiselle askeleelle. Toiminnoille voidaan asettaa toinen harmoninen estotaso, jota voidaan käyttää yksitellen. Funktio tarvitsee jännitteen toimiakseen ja se sisältää muistin.



Kuva 16. AC protection OC4PTOC ylivirtasuojaja, delay polediscrepancy, lämpösuojaja

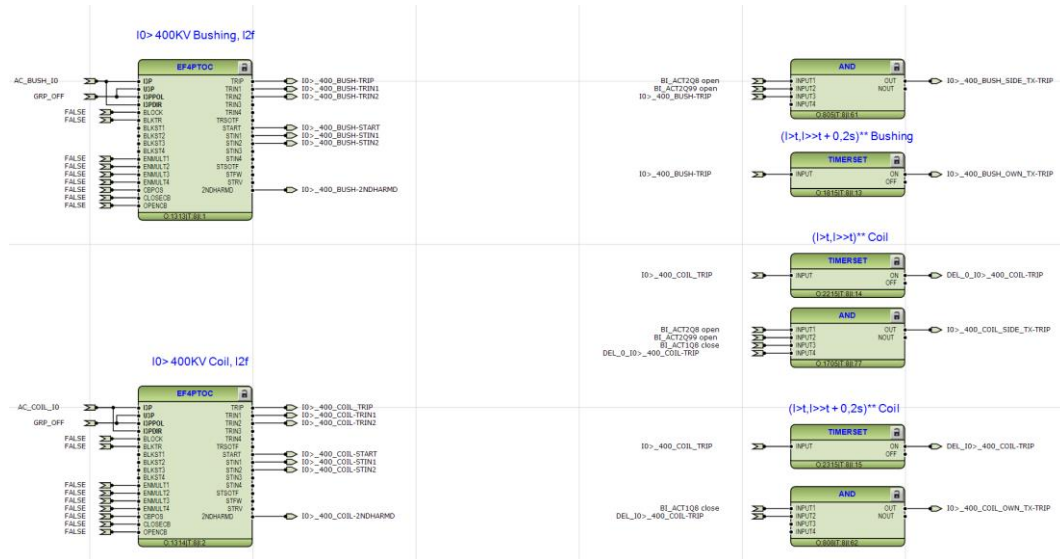
4.2.4 400kV (AC) I0> suojaus

Kuva 15 esittää 400kv suojauskeskuksen toisen sivun. I0>-suojauskeskuksen laukeutua lähtee tieto häiriöntallentimelle. Laukaisusta lähtee tieto myös laukaisuehtoihin, jotka näkyvät EF4PTOC oikealla puolella. Vierelle on rakennettu laukaisuehdot, joiden tulee toteutua ennen laukaisukomentoa. Näitä kutsutaan niin sanotuiksi konditionaalisiksi laukaisuuksi. Kuvassa näkyy, että katkaisijoiden tilatietoindikointien tulee toteutua, että katkaisijaa voidaan ohjata. Tällä varmistetaan, että toiminta tapahtuu ennalta tiedetyssä tilassa.

Laukaisuehtoihin on lisätty myös 0,2s aikaviiveet, jotka toteutuvat ennen katkaisijoiden ohjaamista. Kun laukaisukäskyn ehdot ovat täyttyneet asianmukaisesti, laukaisukomento siirtyy laukaisulogiikkaan. Aikaviiveet voidaan asettaa toimimaan

halutussa ajassa etsimällä plant structure -ympäristöstä (**kuva 24**) kyseisen aikahidasteen parametriasetukset (**kuva 25**).

IDir,UPol ja IPol voidaan valita joko nollasekvenssiksi tai negatiiviseksi sekvenssiksi. Jäännösvirta voidaan laskea kahdella tavalla, joko laskemalla yhteen kolmi-vaihevirrat tai mittaamalla virta tähtipisteestä.

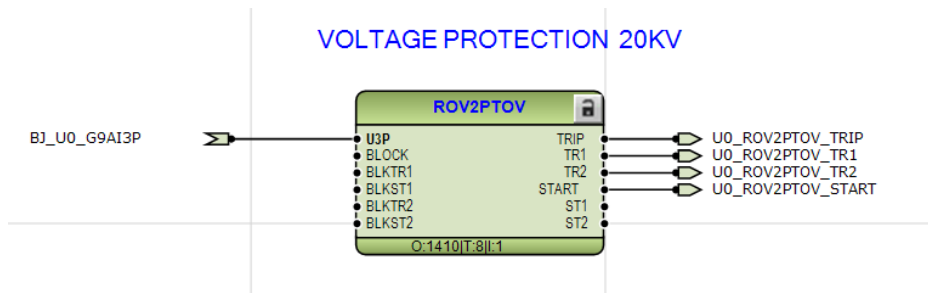


Kuva 17. AC protection, I0> EF4PTOC, laukaisuehdot duplexin molemmille puolille (own ja side).

4.2.5 U0-suojaus

Maavikojen aikana sähköjärjestelmissä voi esiintyä jäännösjännitteitä.

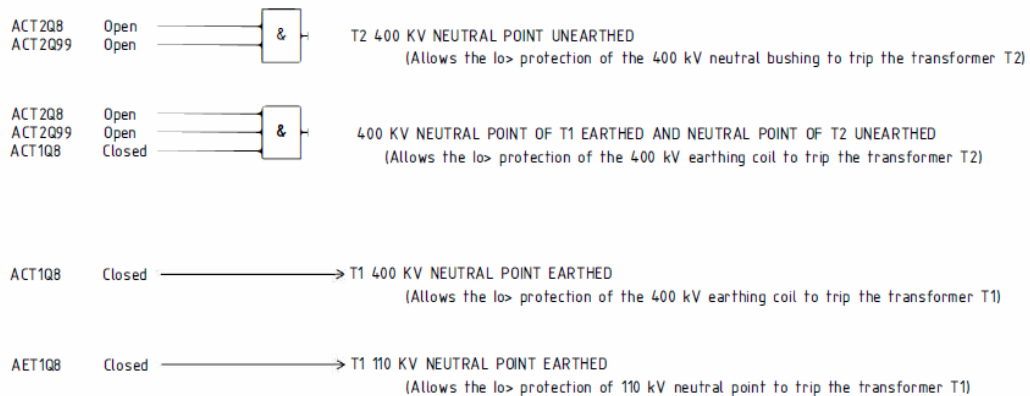
Kaksivaiheinen jäännösylijännitesuojaus (ROV2PTOV) laskee jäännösjännitteen kolmivaihejännitemuuntajista tai mittaa sen yksittäisestä avokolmiosta tai tähtipistejännitemuuntajasta. ROV2PTOV:ssa on kaksi suojausporrasta, joista molemmilla on käänteinen tai suora aikaviive. Nollausaikaviive varmistaa ajoittaiset maaviat.



Kuva 18. Nollajännitesuojaus 20kV U0

4.3 Vierekkäisen muuntajan suojaus

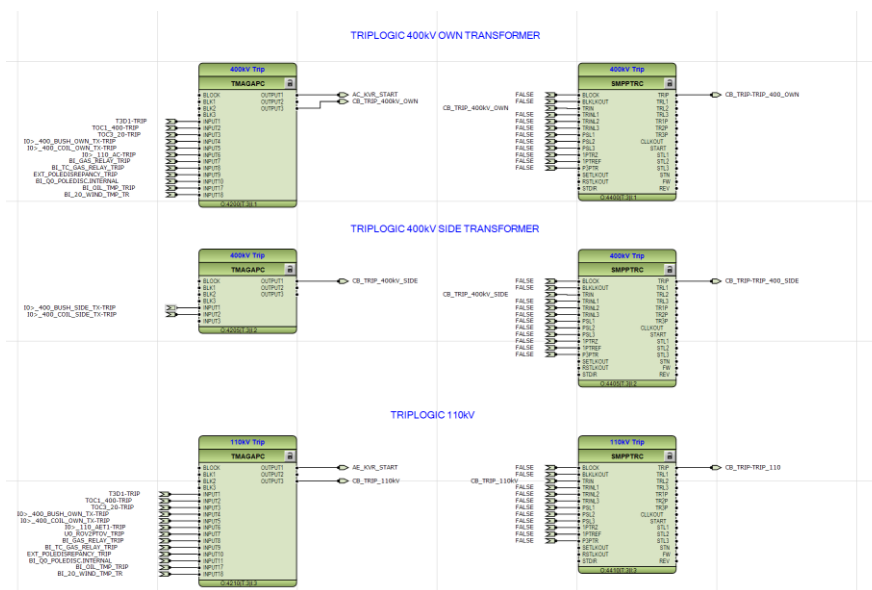
Kuvassa 19 on esimerkki ehdoista, joissa laukaisukäskyt lähetetään vierekkäiselle muuntajalle. AND-piiri vaatii molempien signaalien toteutumista, jotta tieto voi jatkaa matkaansa AND-piirin läpi. Suojaus- ja ohjausfunktioiden erona on, että ohjausfunktio antaa konkreettisen toimintaohjeen, kuten kiskokatkaisijaohjauksen (KK), käämikytkinohjauksen tai maadoituserottimen ohjauksen, eteenpäin. Suojausfunktio taas antaa esimerkiksi käyntitiedon (START), laukaisun (TRIP) tai hälytyksen (H).



Kuva 19. Katkaisijaohjausfunktio

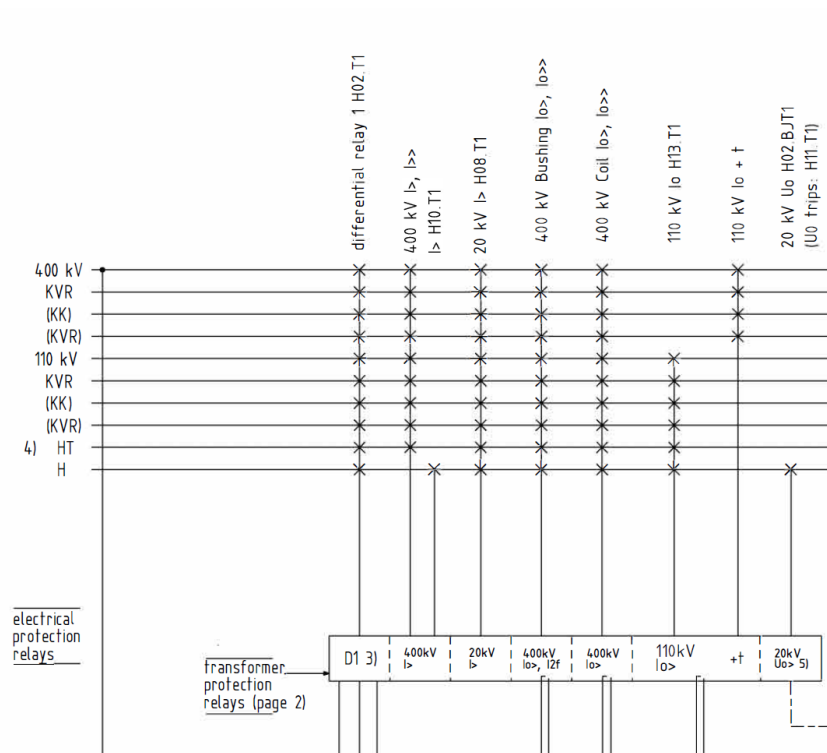
4.3.1 Laukaisulogiikka 400kV ja 110kV

Laukaisulogiikkaan (**kuva 20**) tulee ainoastaan 400kV ja 110kV maavikatiedot ($I_{0>}$), sillä 20kV puolella ei ole $I_{0>}$ -suojausta. 20kV puolelta tulee ylivirta- ja U_0 -laukaisutieto 400kV ja 110kV katkaisija kiinniohjaukseen. Näiden lisäksi 400kV puolelta tulee OC4PTOC, joka aiheuttaa laukaisun tarvittaessa 400kV ja 110kV katkaisijan puolella.

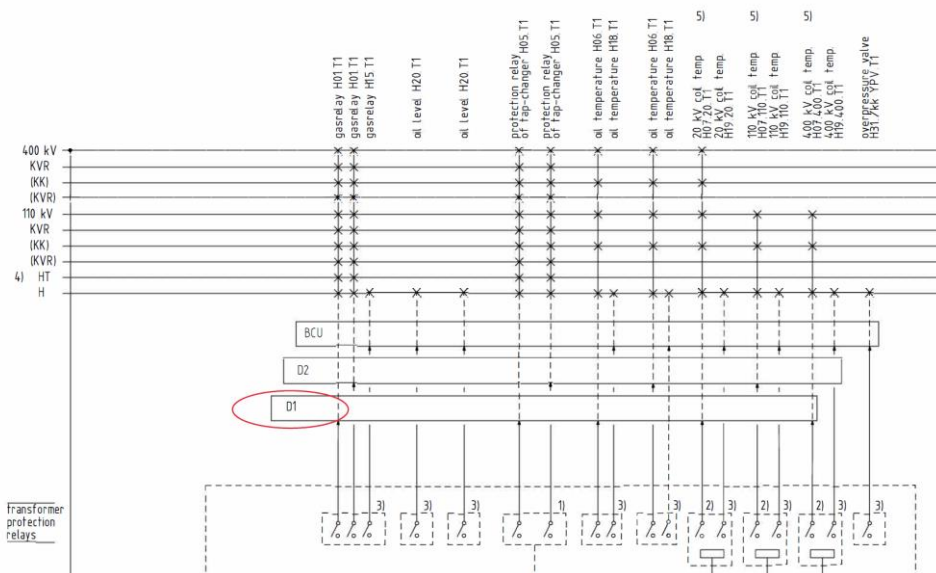


Kuva 20. Laukaisulogiikka

Laukaisulogiikkaan tulee laukaisu tiedot myöskin differentiaalisuojauksesta. Laukaisulogiikkaan tulevat laukaisukäskyt oli merkitty muuntajasuojauksukuvissa, joista pystyi seuraamaan, että kaikki laukaisukäskyt löytyvät ohjelmasta (**kuvat 21 ja 22**).

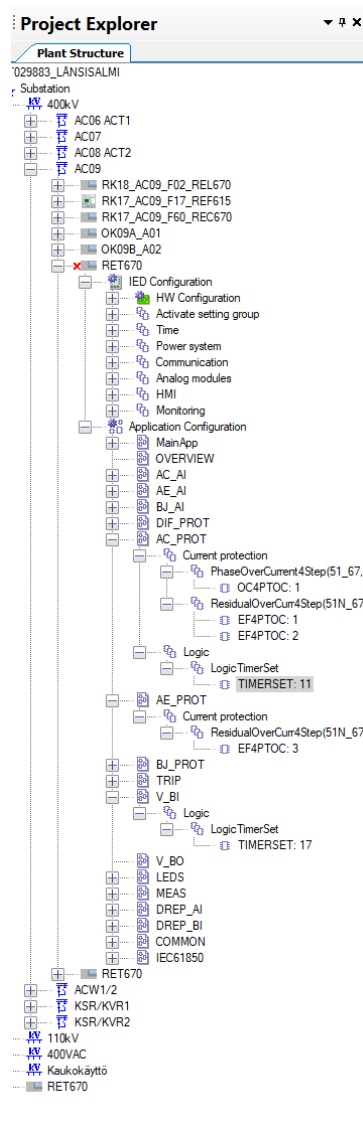


Kuva 21. Muuntajasuojaus osa 1



Kuva 22. Muuntajasuojaus osa 2

Kuvassa 24 näkyy plant structure -ympäristö, missä nähdään kaikki sähköaseman releet ja niiden sisältämät toiminnot.



Kuva 24. Plant structure -ympäristö

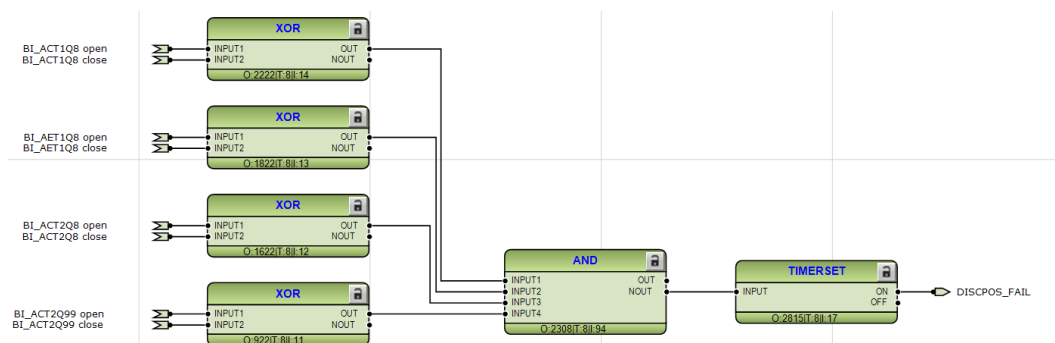
RET670 - Application Configuration		RET670 - Parameter Setting			
Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ TIMERSET: 11					
✓ Setting Group1					
✓ Operation		On			
✓ t		0,200	s	0,000	90000,000

Kuva 25. Aikahidasteen parametrintivalikko

Kuvassa 25 nähdään aikaviiveen parametrintinäkymä. Aina kun tehdään uusi ajastin, tulee se asettaa ON-asentoon ja kirjata sille haluttu toiminta-aika.

4.3.3 Muuntajaerottimien asennon valvontapiiri

Muuntajaerottimien asennon valvontapiiri (**kuva 26**) toteutettiin XOR-blokkien avustuksella, josta kaikkien ehtojen tuli täytyä, jotta ohjauskäske toteutuu.

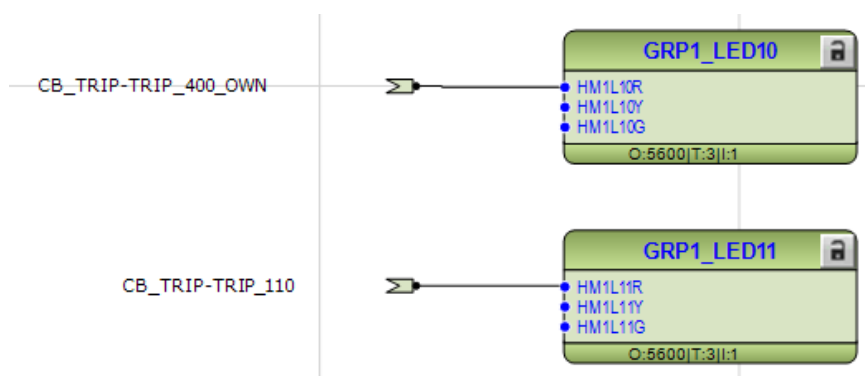


Kuva 26. Erottimien asennon valvonta

XOR-blokki toimii siten, että sisääntulosignaalien tulee olla erityyppiset, kuten tässä open ja close. Kun tämä ehto toteutuu, niin XOR-blokki antaa out-nastasta ulos signaalitiedon 1, mikäli ei toteudu antaa XOR tiedon 0. /7/

4.3.4 Vapaina olevien ledien hyödyntäminen

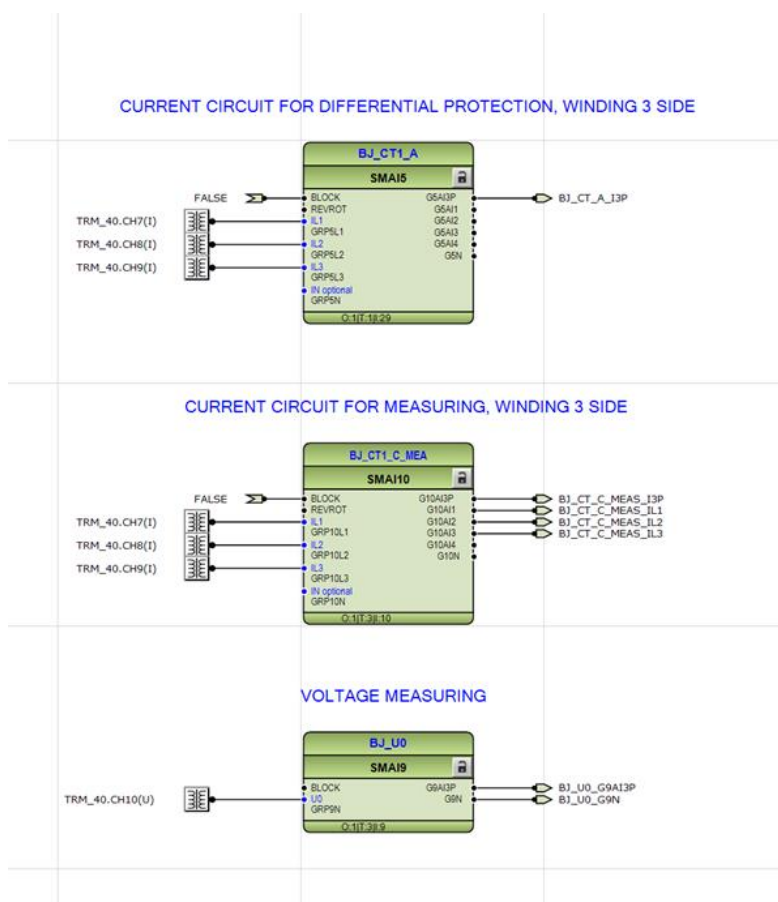
Led-sivulla oli 2 kappaletta vapaita hälytysledejä, joihin lisättiin 400kV ja 110kV katkaisijoiden indikoinnit. Nämä ledit syttyvät kyseisen katkaisijan toiminnan ohella (**kuva 27**). Ledien avulla voidaan paikallisesti havaita, mitä toimenpiteitä kyseinen rele on juuri tehnyt.



Kuva 27. Etupaneelin merkinanto led-katkaisijaohjaus

4.4 Mittaukset

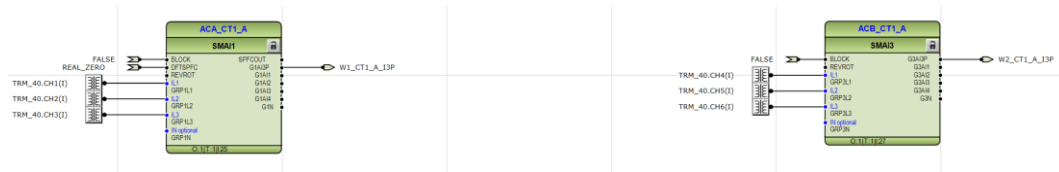
Toimiakseen rele tarvitsee mitattavat arvot mittamuuntajilta. Mittaukset toimitetaan smai-lohkoihin hardware-kanavien kautta. Hardware-kanavat löytyvät releen takapuolelta, missä ne ovat konkreettisia määritettyjä liittimiä. Mittauksissa hardware-kanavat ovat analogiatuloja, jotka määritetään PCM600-ohjelmassa haluttuun käyttöön (**kuva 28**).



Kuva 28. Virta- ja jännitemittaus

Samaa analogiatuloa voidaan käyttää useaan eri mittaustarkoitukseen PCM-ohjelman sisällä. Tässä tapauksessa 400kV-puolella samat mittaukset ohjataan kolmeen eri smai-lohkoon, josta tieto jatkaa matkaansa joko boolean-muuttujana tai ryhmäsignaali muodossa eteenpäin toteuttaen sille määrättyä toimintaa. Kuvassa 28 on virta- ja jännitemittaukset.

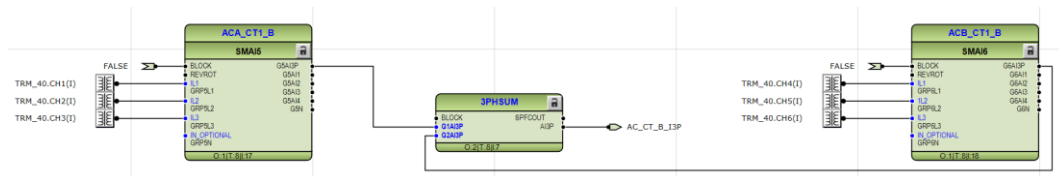
Differentiaalisuojaus



Kuva 29. 400kV differentiaalisuojaukselle lähtevä ryhmäsignaali

Kuvassa 29 näkyy analogiset virranmittaukset (TRM_40.CH1-3I), jotka johdetaan ryhmäsignaalimuodossa (G1AI3P) differentiaalisuojausblokkiin (T3WPDIF).

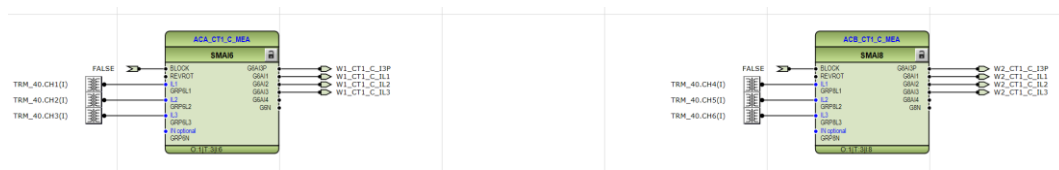
Varasuojaus



Kuva 30. 400kV Ylivirtasuojausfunktiolle lähtevä ryhmäsignaali

Kuvassa 30 näkyy analogiset virranmittaukset (TRM_40.CH1-3I), jotka johdetaan ryhmäsignaalimuodossa (G5AI3P) 3PHSUM-toimilohkoon, mistä se jatkaa edelleen ylivirtasuojausblokkiin (OC4PTOC).

Mittaus



Kuva 31. Suorat mittaukset mittaustoimilohkolle

Kuvassa 31 näkyy analogiset virranmittaukset (TRM_40.CH1-3I), jotka johdetaan ryhmäsignaalimuodossa (G6AI3P) mittauslohkoihin (CMMXU ja CMSQI). Samasta smai-lohkosta johdetaan myös boolean-tyyppinen signaalitieto (G6AI1-3) analogiseen häiriöraportointiin.

Tässä tapauksessa (**kuvat 29-31**) muuntajan 400kV puoli oli kahdennettu (duplex), mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että virranmittaukset tuli suorittaa molemmille puolille omina mittauksina (W1 ja W2).

4.5 Signaalilistan yhdentäminen

Viimeisenä tehtävänä oli signaalilistan luominen, johon merkittiin häiriöntallentimelle tulevien signaalien tämänhetkinen osoite PCM600-ohjelmassa, mistä kaukokäyttöön vaadittava signaali saadaan luettua. Tämä päivittäminen tehtiin Plant structure-ympäristöstä (kuva 24). Ensin painettiin konfiguroitavan releen päältä valinnat, mistä avautuu IEC 61850 configuration-toimintanäkymä. Tämän jälkeen avataan details of the selected data-komennolla valintaikkuna (**kuva 32**), jonka avulla kyseisten signaalien tarkan sijainnin osoite löydetään ja voidaan merkitä signaalilistaan (**kuva 33**).

[illegible]

Kuva 33. Päivitetty signaalilista

5 POHDINTA

Työ oli mielestäni erittäin mielenkiintoinen, sillä sen tarkoituksena on vähentää laitemääriä sähköasemilla. Mielestäni on järkevää lisätä yksittäisten laitteiden käyttömahdollisuutta, sillä se yksinkertaistaa kokonaisuuksia ja vähentää esimerkiksi mekaanisen työn määrää sähköasemilla. Uskon kyseisen kehityssuunnan myöskin alentavan laitoskokonaisuuksien kustannuksia pidemmällä aikavälillä. Tekemäni työ tarkoittaa käytännössä sitä, että onnistuttuaan laitokselta voidaan hävittää REF615-releitä.

Tämä työ tarjosi laajan katsauksen PCM600-ohjelmaan, johon releohjelmointi hyvin pitkälti perustuu. Opinnäytetyöni tarkoitus oli lisätä ohjelmaan suojaus- ja ohjausfunktioita. Näiden avulla rele ymmärtää enemmän muuntajan ympärillä tapahtuvia vikoja. Konfiguroinnissa oli huomattavasti enemmän toimintoja ja mahdollisuuksia kuin mitä työssäni tarvittiin.

Työn tekeminen itsessään oli isoksi osaksi manuaalien tarkastelua ja eri toimint ominaisuuksiin tutustumista. Työn seuraava vaihe voisi olla esimerkiksi konfiguraation testaus käyttäen OMICRON-testilaitetta, eli käytännössä releen toiminta voitaisiin testata testialueella (FAT). OMICRON-laitteella olisi mahdollista luoda myös tarkastuspöytäkirja.

Mikäli tulevaisuudessa yksikköominaisuudet releessä lisääntyvät, voisi olla myös hyvä miettiä, olisiko mahdollista suorittaa analogiamittaukset nykypäivään soveltuvammalla tavalla. Tällöin voitaisiin harkita SAM600-perheen tuotteita, joiden avulla digitalisoidaan tiedot jo toimilaitteella ja näin vähennetään tarvittavaa kaapelointia. Aiheina voisi olla digitaaliset mittaukset langattomana ja niiden vaatimat resurssit. Tämän yhteydessä voitaisiin miettiä valvomosovelluksien kehittämistä digitaalisten mittausten aiheuttamien muutosten myötä.

LÄHTEET

/1/ ABB Power Grids Oy. Viitattu 21.5.2020 <https://new.abb.com/fi/abb-power-grids-finland>

/2/ Fingrid Oy. Viitattu 21.5.2020 <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely>

/3/ Jokinen, K. Teollisuuden ja voimalaitoksen sähköjärjestelmät. VAMK Portal, opetusmateriaali.

/4/ ABB 670 Series Version 2.1 IEC Engineering Manual March 2019

/5/ ABB Transformer protection RET670 Version 2.2 IEC Technical manual

/6/ Viitattu 21.5.2020 https://na.events-cloud.com/file_uploads/8aba77dbc93eff7ffc880677799baf13_PCM600v2.6ProductGuide.pdf

/7/Transformer protection RET670 Version 2.2 IEC Technical manual

/8/ Viitattu 21.5.2020 <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahko-markkinat/sahkon-siirtovarmuus/siirtovarmuus-kotisivuille-1-4-2020.pdf>

/9/ Mäkinen, O. Sähkölaitokset - luku 12.1. VAMK Portal, opetusmateriaali.

/10/ Mäkinen, O. Relesuojaus. VAMK Portal, opetusmateriaali.

/11/ Verkkonen, V. Sähkökoneet 1 muuntajat. VAMK Portal, opetusmateriaali.

